DOI: 10.22092/spj.2023.360785.1283

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۲، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین های پیشرفته عدس دیم در آزمایش های چند محیطی با استفاده از شاخص های WAASB و WAASBY

Assessement of Seed Yield Stability of Advanced Rainfed Lentil Lines in Multi-Environmental Trials using WAASB and WAASBY Indices

امین نامداری[1*]، پیام پزشکپور[2]، اصغرمهربان[3]، امیر میرزایی[4] و محمد برزعلی[5]

۱- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.
۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران.
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.
۴- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
۵- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

چکیده

نامداری، ا.، پزشکپور، پ.، مهربان، ا.، میرزایی، ا. و برزعلی، م. ۱۴۰۱. ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین های پیشرفته عدس دیم در آزمایش های چند محیطی با استفاده از شاخص های WAASB و WAASBY. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۱۴۶-۱۲۹.

هدف از این پژوهش ارزیابی و تفسیر اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای لاین (ژنوتیپ) های پیشرفته عدس دیم در هشت محیط آزمایشی بود. برای این منظور، تعداد ۱۵ لاین پیشرفته عدس دیم به‌همراه دو رقم شاهد (گچساران و سپهر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی گچساران، مغان، خرم‌آباد و ایلام در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بررسی و ارزیابی شدند. میانگین عملکرد دانه کل لاین‌ها ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. ژنوتیپ ۱۰ با ۱۰۳۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ ۱۶ (رقم گچساران) با ۷۲۸ کیلوگرم در هکتار کمترین میانگین عملکرد را در مجموع محیط ها دارا بودند. با توجه به معنی‌دار بودن اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تجزیه پایداری عملکرد دانه برای ژنوتیپ ها انجام شد. بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ ها با روش رتبه (Rank) نشان داد که ژنوتیپ های ۱۲ و ۱۰ به ترتیب ژنوتیپ های با عملکرد دانه پایدار بودند. افزون بر این تجزیه پایداری با شاخص WAASB به عنوان روش چند متغیره نیز انجام شد. بای پلات عملکرد دانه در برابر WAASB نشان داد که اغلب ژنوتیپ ها دارای پایداری عملکرد دانه بیشتر از رقم های شاهد بودند. ژنوتیپ های ۱۲، ۱۳، ۱۱، ۱۰ و۱ به ترتیب دارای عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه بیشتر از رقم شاهد (سپهر) بودند. با در نظر گرفتن سهم برابر برای هر یک از دو جزء میانگین عملکرد و پایداری عملکرد دانه در محاسبه شاخص WAASBY، ژنوتیپ های ۱۰، ۱۳، ۱۱، ۱۲، ۱ به ترتیب در رتبه های برتر قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: عدس، بای پلات، برهمکنش ژنوتیپ × محیط، بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی، تجزیه AMMI

* نگارنده مسئول: aminnamdari61@gmail.com تلفن: ۰۷۴۳۲۳۴۳۴۰۱

مقدمه

مقدار و پراکنش بارندگی دوعامل عمده محدودکننده عملکرد دانه عدس دیم در کشور می‌باشند و معرفی رقم های سازگار با این محدودیت ها می‌تواند تاثیر به سزایی در بهبود عملکرد دانه و تولید عدس داشته باشد (Pezeshkpour and Afkar, 2019). در زمینه تولید عدس در مناطق دیم با اقلیم گرمسیری تا معتدل در کشور از نظر تعداد رقم‌های معرفی شده محدودیت‌هایی وجود دارد. از جمله تا کنون رقم‌های "گچساران ، سپهر و بیله‌سوار"مناسب جهت کشت در دیم‌زارهای مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری معرفی شده‌اند.

پایداری عملکرد دانه به مفهوم ثبات عملکرد دانه یک ژنوتیپ در سال های مختلف و محیط‌های گوناگون است و به این منظور در فرایند معرفی رقم جدید، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون و در قالب آزمایش‌های چندمحیطی مورد ارزیابی قرار می گیرد، تا امکان سنجش برهمکنش ژنوتیپ × محیط فراهم شود. وجود برهمکنش بالای ژنوتیپ × محیط بویژه در مورد صفات پیچیده‌ای همچون عملکرد دانه، موجب کندشدن فرایند گزینش ژنوتیپ‌ها و معرفی رقم های جدید می‌شود (Sharifi, 2020). بنابراین تفسیر درست از این برهمکنش در فرایند ارزیابی و شناسایی ژنوتیپ های برتر، دارای اهمیت اساسی می باشد.

از جمله روش‌های کاربردی در تفسیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط در آزمایش‌های یکنواخت چند محیطی، تجزیه AMMI (Additive main effect and multiplicative interaction) است. این روش، بواسطه امکان نمایش گرافیکی برهمکنش، نسبت به روش هایی همچون تجزیه واریانس ساده، برتر است (Van Eeuwijk *et al*., 2016). تجزیه AMMI به طور گسترده ای در پژوهش‌های مربوط به ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ × محیط و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گونه های زراعی گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است (Rahayu, 2020; Hasani *et al*., 2021; Namdari *et al*., 2022a).

علاوه بر روش AMMI، روش بهترین پیش‌بینی‌های نااُریب خطی (Best linear unbiased perdiction = BLUP) نیز برای برآورد میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چندمحیطی مورد استفاده می گیرد (Nardino *et al*., 2016; Olivoto *et al*., 2017). تجزیه AMMI ، بخش عمده برهمکنش ژنوتیپ × محیط را در نخستین محور مولفه اصلی برهمکنش (IPCA1) توضیح می دهد، در حالیکه بیشترین خطای تصادفی به IPCA های پایانی مربوط می‌شود (Mofidian and Moghaddam, 2013).

برای برطرف کردن این نقطه ضعف روش AMMI، تلفیق دوروش AMMI و BLUP پیشنهاد شده است (Olivoto *et al*., 2019a). به

همین منظور دو روش ذکرشده با معرفی شاخصی با نام "شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (Weighted average of absolute scores = WAASB) " تلفیق می‌شوند. برای محاسبه WAASB به جای اینکه تجزیه AMMI روی داده‌ها در آزمایش چند محیطی انجام پذیرد، بر روی بهترین پیش بینی های نااریب خطی (BLUPs) انجام می شود. از نقطه نظر کاربردی، BLUP و AMMI را می توان به عنوان دو رویکرد متمایز برای رسیدن به هدفی یکسان (متمایز نمودن الگوی برهم کنش ژنوتیپ × محیط از خطای تصادفی) در نظر گرفت.

مزیت های شاخص WAASB در مقایسه با شاخص‌های تجزیه AMMI آن است که بر انحراف‌های مطلق (به جای مربع انحراف‌ها در تجزیه AMMI) استوار است، و حساسیت کمتری به داده‌های پرت دارد. افزون بر این در محاسبه WAASB همه محورهای مولفه های اصلی مورد استفاده قرار می گیرند (Olivoto *et al.*, 2019a). پس از محاسبه شاخص WAASB امکان محاسبه شاخص دیگری به نام WAASBY نیز وجود دارد که در آن عملکرد دانه و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها، همزمان در نظر گرفته می‌شوند، و با توجه به هدف برنامه به نژادی، به‌نژادگر می تواند وزن‌های متفاوتی به شاخص پایداری (WAASB) و عملکرد(Y) بدهد.

معرفی و استفاده از شاخص WAASB برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چندمحیطی اخیرا مورد توجه به نژادی گران قرار گرفته است. از این رو تاکنون پژوهش‌های معدودی با استفاده از این شاخص برای بررسی برهمکنش ژنوتیپ × محیط انجام شده است. در این‌باره اخیرا در پژوهش‌های به‌نژادی مرتبط با برهمکنش ژنوتیپ × محیط در گندم دوروم (Karimizadeh *et al.*, 2021)، عدس (Namdari *et al.*, 2022a) و برنج (Sharifi *et al.*, 2021) از شاخص WAASB به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آزمایشی استفاده شده است.

هدف از این پژوهش، شناسایی ژنوتیپ(های) برتر عدسدیم واجد عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه بالا برای معرفی رقم(های) جدید بود. بدین منظور، ارزیابی پایداری عملکرد لاین (ژنوتیپ) های پیشرفته عدس دیم با بهره‌گیری از روش تک متغیره رتبه (Rank) و روش چند متغیره با محاسبه دو شاخص WAASB و WAASBY انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در چهار ایستگاه

تحقیقات کشاورزی دیم گچساران، خرم‌آباد، مغان و ایلام در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. مجموع تعداد محیط های آزمایشی هشت محیط شامل چهار مکان و دو سال بود.

کد های محیط های آزمایشی به ترتیب: گچساران سال اول و دوم (G98، G99)، خرم‌آباد سال اول و دوم (K98، K99)، مغان سال اول و دوم (M98، M99)، ایلام سال اول و دوم (I98، I99) بود. پانزده لاین (ژنوتیپ) پیشرفته پس از طی نمودن سه سال ارزیابی در قالب خزانه های بین المللی، آزمایش مقدماتی مقایسه عملکرد دانه، و آزمایش مقایسه عملکرد دانه پیشرفته، برای ادامه ارزیابی در قالب آزمایش یکنواخت سراسری مقایسه عملکرد دانه، انتخاب شدند. نام و شجره لاین (ژنوتیپ) های انتخابی و منشا آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

وضعیت دما و بارندگی در سال‌های اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. در کنار ژنوتیپ‌های برگزیده دو رقم "گچساران" و "سپهر" به عنوان رقم‌های شاهد (ارقام تجاری در مناطق یادشده) نیز در آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. کشت در همه ایستگاه‌های تحقیقاتی در تناوب گندم-عدس انجام شد و تاریخ کشت نیز بسته به منطقه، از آغاز آذر تا اواسط دی، بسته به زمان دریافت بارش های موثر بود.

برای تجزیه آماری از بسته ویژه آزمایش‌های چندمحیطی با نام METAN در بستر نرم افزار R استفاده شد. در محاسبه شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (WAASB)، تجزیه AMMI به جای اینکه بر روی داده های خام انجام گیرد بر روی بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUPs) انجام و به نحوی که دو روش AMMI و BLUP با یکدیگر تلفیق شدند. در این محاسبات از آماره‌های تجزیه AMMI و نیز آماره‌های مبتنی بر تجزیه AMMI و ماتریس برهمکنش ژنوتیپ × محیط حاصل از بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی(BLUP) استفاده شد.

نحوه محاسبه آماره‌های تجزیه AMMI در سایر پژوهش‌ها تشریح شده‌اند (Karimizadeh *et al*., 2021; Olivoto *et al*., 2019b; Pezeshkpour *et al*., 2021). در اینجا به محاسبه دو آماره WAASB و WAASBY اشاره می‌شود:

رابطه ۱:

$$WAASB_i=\frac{\sum_{k=1}^{p}|IPCA_{ik}\times EP_k|}{\sum_{k=1}^{p}EP_k}$$

در این رابطه، $WAASB_i$ میانگین وزنی امتیاز های مطلق مربوط به ژنوتیپ شماره i است. IPCAik امتیاز ژنوتیپ شماره i در محور مولفه اصلی برهمکنش شماره k می باشد. EPk واریانس توجیه شده توسط IPCA شماره k است.

به منظور فراهم آمدن امکان گزینش ژنوتیپ ها بر پایه هر دو شاخص عملکرد دانه و پایداری عملکرد، شاخص WAASBY نیز محاسبه شد که فرمول آن در رابطه ۲ ارائه شده است.

رابطه ۲:

$$WAASBY_i=\frac{\left\{W_Y\times\left[\left(\frac{GY_i}{GY_{max}}\right)\times 100\right]\right\}+\left[W_S\times\left(100-\frac{WAASB_i}{WAASB_{min}}\right)\right]}{W_Y+W_S}$$

جدول ۱- نام/شجره و منشاء لاین (ژنوتیپ) های عدس دیم

Table1. Name/pedigree and origin of rainfed lentil lines (genotypes)

کد ژنوتیپ Genotype code	نام /شجره Name/Pedigree	منشا Origin	کد ژنوتیپ Genotype code	نام /شجره Name/Pedigree	منشا Origin
G1	2009S 96575-1	ICARDA	G10	2009S 96501-5-X2007S61-ILL5883 × ILL6458	ICARDA
G2	08S 40111-01	ICARDA	G11	ILL 4605-2	ICARDA
G3	ILL 5988	ICARDA	G12	08S 41205-13-X2005S140-ILL5883 × ILL7620	ICARDA
G4	ILL 4605-1	ICARDA	G13	2009S 96101-4	ICARDA
G5	ILL 6183	ICARDA	G14	X2012S-154-X2012S-154-ILL6002 × ILWL118	ICARDA
G6	ILL 590	ICARDA	G15	X2012S-102-X2012S-102-(ILL7986 × ILWL 74) × (ILL4605 × ILL5677)	ICARDA
G7	2009S 96505-2-X2007S67-ILL6434 × ILL8199	ICARDA	G16	Gachsaran	IRAN
G8	2009S 96518-1-X2007S107-ILL7940 × ILL5883	ICARDA	G17	Sepehr	IRAN
G9	2009S 96501-1-X2007S61-ILL5883 × ILL6458	ICARDA			

جدول ۲- میانگین ماهانه دما و بارندگی ایستگاه های تحقیقات کشاورزی در سالهای زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Table 2. Mean monthly temperature and rainfall of agricultural research stations in 2019-20 and 2020-21 cropping seasons

		گچساران Gachsaran				خرم آباد Korramabad				مغان Moghan				ایلام Ilam			
Month	ماه	بارش (میلی متر) Rainfall (mm)		دما (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)		بارش (میلی متر) Rainfall (mm)		دما (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)		بارش (میلی متر) Rainfall (mm)		دما (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)		بارش (میلی متر) Rainfall (mm)		دما (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)	
		2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21	2019-20	2020-21
Oct.-Nov.	مهر	0.0	2.4	27.8	26.3	12.4	9.4	22.9	22.9	10.5	29.2	19.1	18.5	15.0	0.0	24.8	22.7
Nov.-Dec.	آبان	64.5	33.3	19.1	20.0	54.0	11.6	13.0	13.0	3.4	6.2	12.1	13.8	44.6	33.7	14.2	16.7
Dec.-Jan.	آذر	111.0	401.5	13.6	14.5	112.0	154.0	7.7	7.7	27.4	25.9	7.0	6.2	134.4	127.8	9.4	10.0
Jan.-Feb.	دی	59.4	10.2	11	11.5	69.0	4.9	6.4	6.4	15.5	18.8	6.1	4.6	37.4	6.9	7.1	7.5
Feb.-Mar.	بهمن	41	67.1	11.2	13.1	36.0	87.3	5.6	5.6	18.6	20.0	6.3	6.0	44.3	97.4	6.4	9.0
Mar.-Apr.	اسفند	35.4	77	15.7	15.2	189.0	27.8	11.4	11.4	19.5	54.4	10.2	5.3	283.1	32.1	11.8	11.8
Apr.-May	فروردین	97.2	0	17.6	21.1	39.6	6.5	13.0	13.0	22.3	17.4	11.1	13.7	33.5	4.3	14.0	16.0
May -Jun.	اردیبهشت	27	0	24.1	26.7	12.0	2.0	18.8	18.8	43.0	15.4	17.1	19.7	11.3	0.1	20.2	23.5
Total	مجموع	435.5	591.5			524	303.5			160.2	187.3			603.6	302.3		

در ایـن رابطـه، $WAASBY_i$ میـانگین وزنـی شاخص WAASB و عملکـرد دانـه (GY) بـرای ژنوتیپ شماره i، WY وزن داده شده به عملکـرد دانه، GYi، میـانگین عملکـرد ژنوتیـپ شـماره i، GYmax بیشترین میانگین عملکرد اندازه گیـری شده، Ws وزن داده شده به پایداری، WAASBi مقدار شاخص WAASB برای ژنوتیپ شـماره i، $WAASB_{min}$ کمترین مقدار شاخص WAASB اندازه گیری شده در میان ژنوتیـپ هـا (کـه برابـر است با بیشترین پایداری) می باشند.

به منظور فراهم آوردن امکـان مقایسـه دقیـق لاین ها (ژنوتیپ‌ها) در محیط های آزمایشی، بـا رسم شکل‌های گوناگون در بستر نـرم افـزار R، برهمکنش ژنوتیپ × محیط بررسی و تفسیر شد.

نتایج و بحث

ابتدا تجزیه واریانس ساده برای عملکرد دانه در هر یک از محیط‌هـای آزمایشـی انجـام شـد، و همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمـون بارتلت تایید شد. بـا توجـه بـه معنـی دار بـودن برهمکنش ژنوتیپ × محیط در تجزیه واریـانس مرکـب (جـدول ۳)، تجزیـه پایـداری عملکـرد دانـه و ارزیـابی بـرهمکنش ژنوتیـپ × محـیط، انجـام گردیـد. میـانگین عملکـرد دانـه کـل ژنوتیـپ هـا ۸۹۱ کیلـوگرم در هکتـار در کلیـه محیط ها بود. ژنوتیپ ۱۰ بـا ۱۰۳۱ کیلـوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ ۱۶ (رقم گچساران) بـا ۷۲۸ کیلـوگرم در هکتـار کمتـرین میـانگین عملکرد دانه را داشتند.

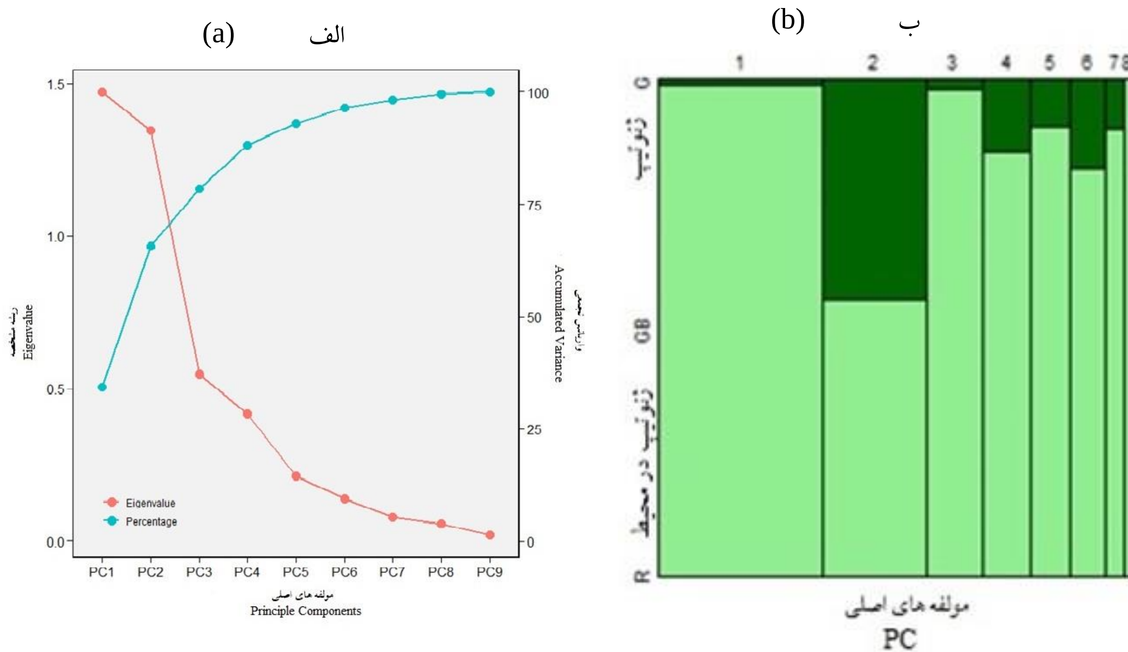
جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ژنوتیپ های عدس

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of lentil genotypes environments

S. O. V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات Mean Squares
Environment (E)	محیط	7	10985517**
Replication/E	محیط/تکرار	16	269470
Genotype (G)	ژنوتیپ	15	146351**
G × E	ژنوتیپ × محیط	112	102881**
Error	خطا	256	50802

**: Significant at the 1% probability level. **: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

برهمکنش ژنوتیپ × محیط بـه هشـت مولفـه تقسیم شد که در شکل ۱ سهم هریک از مولفه‌ها در توضیح برهمکنش ژنوتیپ محیط نمایش داده شده است (Fig. 1a). سهم مولفـه‌هـا از واریـانس ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در شکل ۱ نشان داده شده است (Fig. 1b). اگـر کـل سـطح مربع را ۱۰۰ درصد در نظر بگیریم، بخش‌های بـه رنگ سبز روشـن تغییـرات ناشـی از بـرهمکنش ژنوتیپ × محیط و بخش‌های به رنـگ سـبز تیـره تغییرات ناشی از ژنوتیپ را نشان می‌دهند. به جـز در مورد مولفه دوم، در مورد سایر مولفه ها سـهم تغییـرات ناشـی از بـرهمکنش ژنوتیـپ × محـیط، فاصله بسیار زیادی با سهم اثر ژنوتیـپ بـه تنهـایی دارد (Fig. 1b).



شکل ۱- (a) سهم هریک از مولفه ها در توضیح برهمکنش ژنوتیپ × محیط و (b) سهم مولفه ها از واریانس ژنوتیپ + برهمکنش ژنوتیپ × محیط

Fig. 1. (a) Contribution of each principle component in explaining GE interaction, and (b) contribution of principle components to variation of G+GE

نکته ای که در رابطه با عملکرد دانه ژنوتیپ های عدس در محیط ها مختلف باید مورد توجه قرار داد، این است که به سبب تفاوت های آب و هوایی قابل توجه بین محیط های آزمایشی، عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های آزمایشی تغییرات قابل توجهی داشت که نشان دهنده وجود اثر معنی دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط بود (جدول ۳). برای مثال، در ایستگاه گچساران، با وجود بارش بیشتر در سال زراعی دوم (جدول ۲)، به دلیل پراکنش نامناسب و روی دادن قسمت عمده این بارش ها پیش از کاشت، در واقع دوره رشد کوتاه شد و گیاه با تنش خشکی قابل توجهی در انتهای فصل رشد مواجه گردید. در دو ایستگاه ایلام و خرم آباد مقدار بارش در دو سال زراعی تفاوت قابل توجهی داشت، که منجر به تفاوت قابل توجه در عملکرد دانه ژنوتیپ ها شد.

در مجموع دو سال، در ایستگاه گچساران ژنوتیپ ۱۰ با میانگین عملکرد ۱۴۳۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت، و با فاصله قابل توجه ای ژنوتیپ های ۱۱، ۱۳، ۴ و ۱۲ تقریبا در سطح یکسانی قرار داشتند (جدول ۴). در ایستگاه خرم آباد، ژنوتیپ های ۳، ۱۲، ۱۳ و ۱ بیشترین عملکرد دانه را داشتند. در ایستگاه مغان ژنوتیپ های ۸ و ۱۲ و در ایستگاه ایلام بیشترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ های ۱۰، ۱۱ بود (جدول ۴). باید توجه داشت که برای شناسایی ژنوتیپ های برتر توجه به هر دو

خصوصیت عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد لازم است. به همین دلیل، تجزیه پایداری عملکرد دانه امری ضروری است . سایر پژوهشگران نیز واکنش متفاوت عملکرد دانه ژنوتیپ های عدس در محیط های گوناگون را گزارش کرده اند (Bicer and Sarkar, 2006; Kumar *et al*., 2005; Sabbaghnia *et al*., 2008).

جدول ۴- میانگین دو ساله عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ژنوتیپ های عدس در چهار مکان

Table 4. Two-year mean seed yield (kg ha^{-1}) of lentil genotypes in four locations

ژنوتیپ Genotype	گچساران Gachsaran	خرمآباد Korramabad	مغان Moghan	ایلام Ilam	ژنوتیپ Genotype	گچساران Gachsaran	خرمآباد Korramabad	مغان Moghan	ایلام Ilam
G1	1131	1302	467	817	G10	1432	1128	357	1206
G2	1136	1121	447	736	G11	1218	1200	418	1150
G3	796	1378	538	936	G12	1130	1308	566	1078
G4	1174	1073	427	583	G13	1189	1310	439	863
G5	900	1137	470	831	G14	1196	1149	428	831
G6	903	1089	413	1052	G15	1083	1088	441	699
G7	812	1250	451	866	G16	911	1032	413	559
G8	795	1169	615	1008	G17	996	925	506	1090
G9	831	1339	440	813					

LSD 5% = 115 kg ha^{-1}

تجزیه پایداری عملکرد دانه با استفاده از روش ناپارامتری

آماره ناپارامتری فاکس (Fox *et al*., 1990)، ژنوتیپ ها براساس رتبه دریافتی در سه رده بالا (Top)، پایین (Low) و میانه (Mid) در محیط های آزمایشی رتبه بندی می کند، و بر مبنای درصد قرارگیری ژنوتیپ ها در سه بخش، ژنوتیپ با پایدارترین عملکرد شناسایی می شود. بالاتر بودن مقدار آماره TOP یک ژنوتیپ به معنای پایدارتر بودن عملکرد دانه آن ژنوتیپ است. بر مبنای آماره TOP ژنوتیپ ۱۲ دارای پایدارترین عملکرد دانه بود، چون در ۷۵ درصد موارد در رده بالایی از نظر رتبه بندی قرار داشت، و هرگز در بخش پایینی رتبه بندی قرار نداشت. پس از آن، ژنوتیپ های ۱۰ و ۸ نیز به عنوان ژنوتیپ های دارای عملکرد دانه پایدار شناسایی شدند (جدول ۵).

ناپایدارترین عملکرد دانه به ژنوتیپ های ۱۶ (رقم گچساران) و ۶ تعلق داشت که عمدتا در بخش پایینی رتبه بندی قرار داشتند (جدول ۵). موثر بودن آماره TOP در شناسایی ژنوتیپ های پرمحصول و با عملکرد پایدار توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Ebadi *et al*., 2008). در بسیاری از موارد، ژنوتیپ های با عملکرد پایدار از نظر آماره TOP، از نظر عملکرد نیز در رتبه های بالایی قرار داشتند (Abdullahi *et al*., 2007).

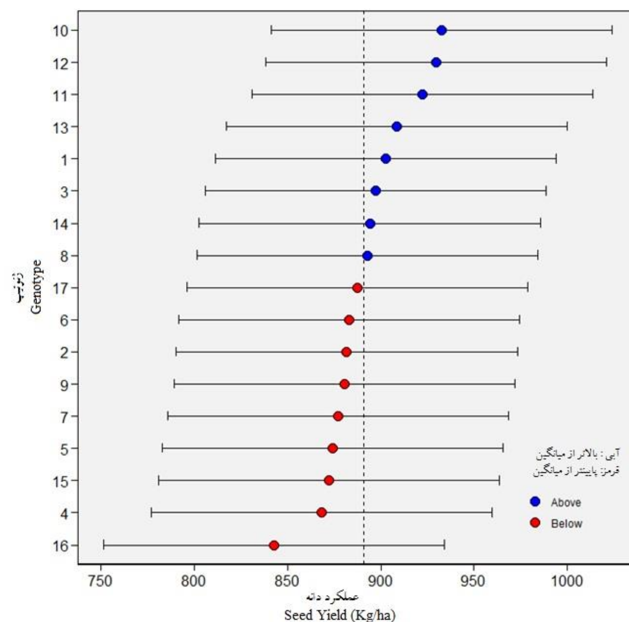
جدول ۵- رتبه بندی عملکرد ژنوتیپ های عدس با استفاده از روش فاکس و همکاران (۱۹۹۰)
Table 5. Ranking of seed yield of lentil genotypes using Fox *et. al.* (1990) method

ژنوتیپ Genotype	پایین Low	میانه Mid	بالا Top	ژنوتیپ Genotype	پایین Low	میانه Mid	بالا Top
G1	50.0	25.0	25.0	G10	25.0	25.0	50.0
G2	50.0	25.0	25.0	G11	25.0	37.5	37.5
G3	25.0	50.0	25.0	G12	0.0	25.0	75.0
G4	50.0	12.5	37.5	G13	12.5	50.0	37.5
G5	50.0	50.0	0.0	G14	37.5	25.0	37.5
G6	62.5	12.5	25.0	G15	37.5	62.5	0.0
G7	37.5	50.0	12.5	G16	62.5	37.5	0.0
G8	12.5	37.5	50.0	G17	12.5	62.5	25.0
G9	50.0	12.5	37.5				

تجزیه پایداری بااستفاده از آماره های چند متغیره WAASB و WAASBY

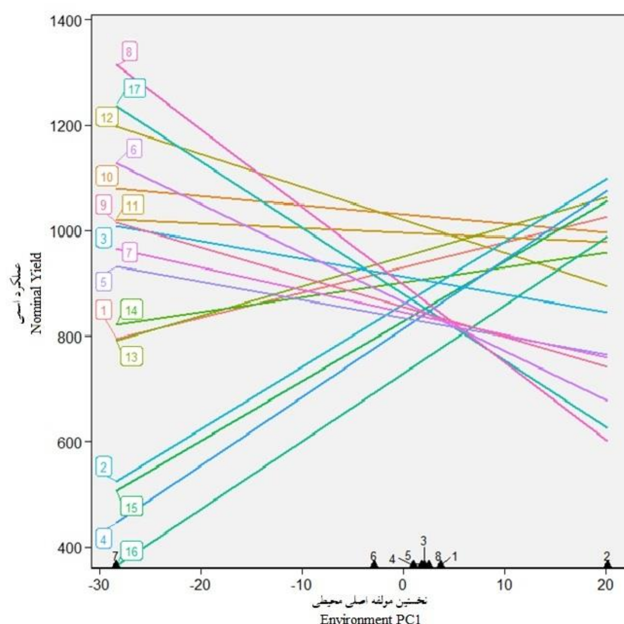
عملکرد دانه برآورد شده برای هر یک از ژنوتیپ‌های عدس با روش BLUP در شکل۲ نمایش داده شده است. برآورد دقیق میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ ها بویژه در مدل های مختلط از جمله مزیت های عمده روش BLUP می باشد (Olivoto *et al.*, 2019a). افزون بر این، در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان پذیر می سازد (Smith *et al.*, 2005). روش BLUP کارایی خود را در بهبود دقت پیش بینی اثرهای تصادفی ثابت کرده است (Piepho *et al.*, 2008) روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، برآورد می کند (Nardino *et al.*, 2016; Olivoto *et al.*, 2019b; Olivoto *et al.*, 2019a). در روش BLUP، در وهله نخست اثرهای مدل ANOVA برآورد می‌شوند، و سپس وزن هایی به این اثرها داده می‌شود. در گیاهان زراعی مانند ذرت (Baretta *et al.*, 2016) و نیشکر (Barbosa *et al.*, 2014)، استفاده از روش‌های مبتنی بر BLUP در ارزیابی کارایی ژنوتیپ ها و پیش بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده اند.

به منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های عدس از چند شکل بهره گرفته شد که یکی از آنها انحراف عملکرد دانه اسمی هر یک از ژنوتیپ‌ها با عملکرد پیش‌بینی شده در روش BLUP بود (شکل ۳). در این شکل، خطهایی که با رنگهای گوناگون رسم شده اند مربوط به هریک از ژنوتیپ ها می باشند، و هرچه شیب خط بیشتر باشد نشان دهنده انحراف بیشتر از عملکرد دانه پیش بینی شده و پایداری عملکرد کمتر می باشد. این بای‌پلات نمایش دیگری از بای‌پلات "کدام ژنوتیپ- کجا برنده" در روش چند متغیره دیگر تجزیه پایداری (GGE بای پلات) می باشد.



شکل ۲- بهترین پیش بینی های نااریب خطی برای ۱۷ ژنوتیپ عدس. دایره های آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده ژنوتیپ هایی با میانگین عملکرد دانه بالاتر یا پایین تر از میانگین های عملکرد دانه پیش بینی شده با BLUP می باشند.

Fig. 2. Best linear unbiased prediction (BLUP) for 17 lentil genotypes. Blue and red circles indicate above and below mean seed yield than BLUP predictions, respectively.



شکل ۳- عملکرد دانه اسمی در برابرامتیاز های نخستین مولفه اصلی محیطی برهمکنش ژنوتیپ × محیط (IPCA1)

Fig. 3. Nominal seed yield vs. first principal component environmental axis of genotype × environment interaction (IPCA1)

شماره های روی محور افقی از یک تا هشت نشان دهنده شماره هر یک از محیط های آزمایشی می‌باشند، و بر این اساس امکان ارزیابی عملکرد دانه هر یک از ژنوتیپ ها در هر محیط وجود دارد (شکل ۳). این ویژگی بویژه در مورد شناسایی وتعیین سازگاری خصوصی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. با در نظر گرفتن موارد اشاره شده می‌توان چنین استنباط کرد که در میان ژنوتیپ‌های عدس، ژنوتیپ های ۸، ۱۷، ۱۶، ۴، ۱۵ و ۲ واجد بیشترین شیب خط بوده و بنابراین بیشترین تاثیر را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. ژنوتیپ های ۱۶ و ۱۷ به ترتیب مربوط به رقم های گچساران و سپهر می باشند.

ژنوتیپ هایی مطلوب شناخته می‌شوند که افزون بر داشتن عملکرد بالا (دستکم بالاتر از رقم های شاهد) پایداری عملکرد دانه بالایی نیز در محیط های گوناگون داشته باشند و شیب خط ترسیم شده برای آنها کم باشد. در نقطه مقابل دو ژنوتیپ ۱۰ و ۱۱ کمترین شیب خط و بیشترین پایداری عملکرد دانه در محیط های آزمایشی داشتند. سایر ژنوتیپ ها نیز در محدوده متوسط قرار داشتند. همانگونه که در محور افقی شکل اشاره شده است، ترسیم نمودار بر پایه مولفه اصلی نخست می باشد و سایر مولفه ها در آن منظور نشده اند بنابراین تفسیر این شکل را باید با دقت بیشتری انجام داد. (Sharifi *et al*., 2021).

از نمودار "کدام ژنوتیپ-کجا برنده" در پژوهش های گوناگون به منظور ارزیابی سازگاری خصوصی ژنوتیپ ها استفاده شده است (Gurmu *et al*., 2012; Yan *et al*., 2000; Farshadfar, 2013).

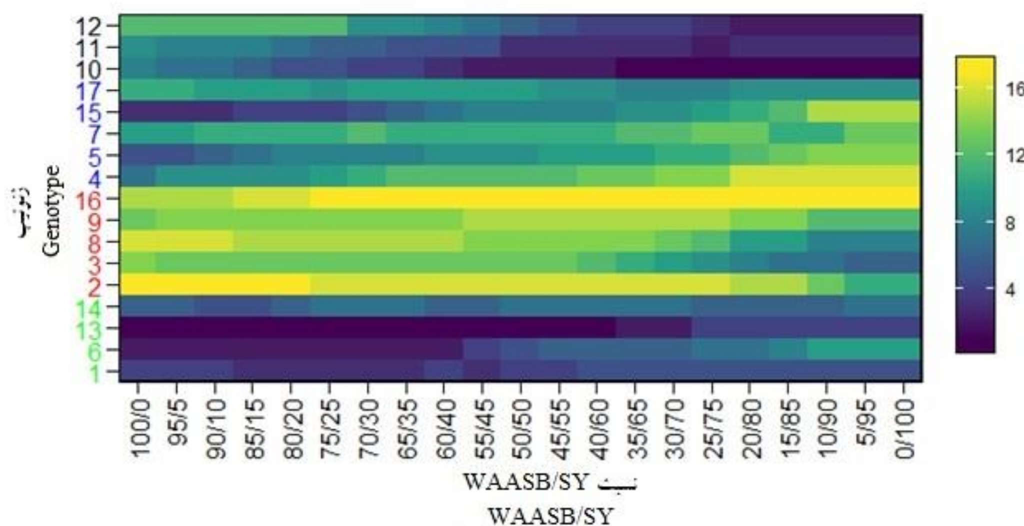
محاسبه شاخص WAASBY با در نظر گرفتن سهم های گوناگون برای هر یک از دو جزء عملکرد دانه و پایداری عملکرد ژنوتیپ های عدس انجام شد (شکل ۴). همانگونه که درشکل ۴ مشاهده می شود رتبه بندی ژنوتیپ ها با شاخص WAASBY بسته به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد دانه در نظر گرفته شود، تفاوت زیادی پیدا می کند. هر چه از سمت چپ به سمت راست حرکت کنیم سهم پایداری عملکرد دانه در واحدهای پنج درصدی کاهش می یابد و به سهم عملکرد دانه افزوده می شود.

با در نظرگرفتن سهم ۱۰۰ درصدی برای پایداری عملکرد دانه و صرف نظر از میانگین عملکرد دانه، همانگونه که در انتهای سمت چپ شکل ۴ آشکار است، ژنوتیپ‌های ۱۳، ۶، ۱۵ و به ترتیب پایداری عملکرد دانه بالاتری داشتند. در حالیکه با در نظر گرفتن عملکرد دانه به تنهایی (انتهای سمت راست شکل ۴)، ژنوتیپ های ۱۲، ۱۰ و ۱۱ بالاترین رتبه ها را به خود اختصاص دادند. با در نظر گرفتن سهم برابر (۵۰/۵۰) برای پایداری عملکرد و عملکرد دانه، در میانه شکل دیده می‌شود که ژنوتیپ های ۱۰، ۱۳، ۱۱، ۱۲، ۱ در رتبه های برتر قرار گرفتند. یکی از مزیت های شاخص WAASBY این است که بسته به هدف

برنامه به‌نژادی، می توان در محاسبه آن به هریک از دو جزء عملکرد و پایداری عملکرد وزن‌های متفاوت داد تا سهم هر جزء پررنگ‌تر یا کم رنگ‌تر شود (شکل ۴).

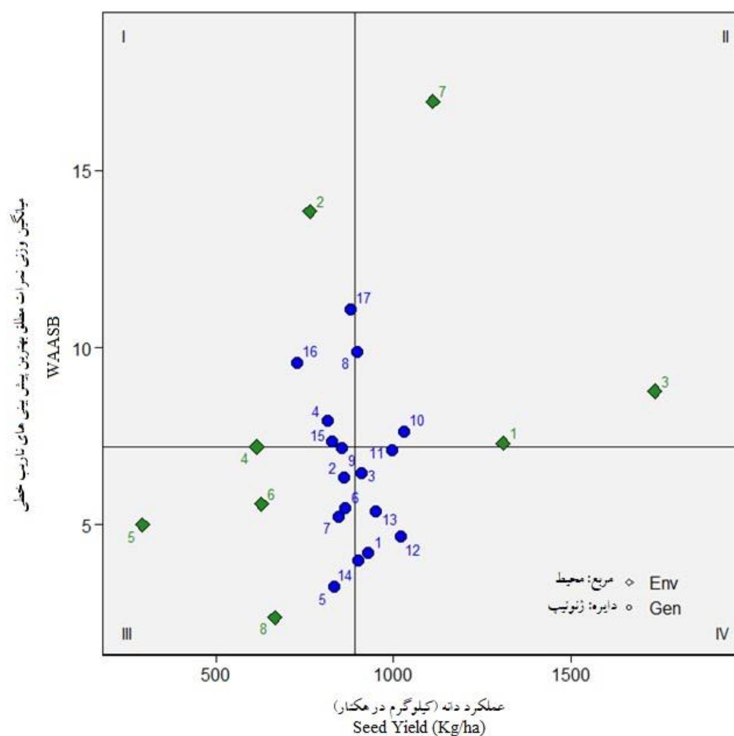
بای پلات شاخص پایداری WAASB در برابر عملکرد دانه در شکل ۵ نمایش داده شده است. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می شود این شکل به چهار بخش تقسیم شده است. در بخش ۱، ژنوتیپ ها و محیط هایی با عملکرد دانه کمتر از میانگین و مقدار شاخص WAASB بالا قرار دارند. مقدار بالاتر WAASB نشان دهنده پایداری عملکرد کمتر است. ژنوتیپ های ۱۷، ۱۶، ۴ و ۱۵ در این بخش قرار گرفتند (شکل ۵). دو رقم شاهد گچساران و سپهر (ژنوتیپ های ۱۶ و ۱۷) تقریبا ناپایدارترین عملکرد دانه را داشتند.

در بخش دوم، ژنوتیپ ها و محیط های با عملکرد دانه بالاتر از میانگین و پایداری عملکردکمتر قرار می گیرند. در این بخش ژنوتیپ ۸ با فاصله ای بسیار اندك از میانگین عملکرد دانه و شاخص پایداری کمتر و ژنوتیپ ۱۰ با میانگین عملکرد دانه بالا و شاخص WAASB کمی بیشتر از میانگین (پایداری عملکردکمتر از میانگین) قرار گرفتند. در مورد ژنوتیپ ۱۰ باید اشاره شود که این ژنوتیپ از نظر عملکرد دانه در کنار ژنوتیپ ۱۲، در رتبه نخست از نظر عملکرد دانه قرار گرفت و با توجه به فاصله بسیار کم از میانگین شاخص WAASB، برتری چشمگیری در مقایسه با هر دو رقم شاهد (ژنوتیپ های ۱۶ و ۱۷) داشت (شکل ۵).



شکل۴- رتبه بندی ۱۷ ژنوتیپ عدس با در نظرگرفتن نسبت های متفاوت شاخص پایداری عملکرد (WAASB) و عملکرد دانه (SY)

Fig. 4. Ranking of lentil genotypes based on different stability index (WAASB) and seed yield (SY)



شکل ۵- بای پلات عملکرد دانه × شاخص پایداری WAASB برای ۱۷ ژنوتیپ عدس در هشت محیط (چهار مکان و دو سال)

Fig. 5. Seed yield (SY) × stability index (WAASB) biplot for 17 lentil genotypes in eight environments (Four locations and two years)

همچنین می توان ژنوتیپ ۱۰ را در کنار چند ژنوتیپ دیگر به عنوان یکی از ژنوتیپ های برتر و مناسب برای نامگذاری و آزاد سازی به عنوان رقم جدید در نظر گرفت.

در بخش سوم، ژنوتیپ ها و محیط هایی با عملکرد پایین و پایداری عملکرد بالا قرار دارند، که شامل ژنوتیپ های ۹، ۲،۶،۷ و ۵ می شوند. بخش چهارم مطلوب ترین ژنوتیپ ها را شامل می شود که همزمان عملکرد دانه و پایداری عملکرد بالاتر از میانگین دارند (شکل ۵). ژنوتیپ های ۱۲، ۱۳، ۱۱، ۱و ۳ و ۱۴ در این بخش قرار گرفته اند. ژنوتیپ های ۱۴ و ۳ از نظر عملکرد بسیار نزدیک به میانگین هستند و از این نظر با رقم شاهد سپهر تقریبا در رتبه برابری قرار داشتند. بر این اساس و با توجه به اهمیت عملکرد دانه، این ژنوتیپ ها از مطلوبیت کمتری برخوردارند. ژنوتیپ های ۱۲، ۱۳، ۱۱ و ۱ در این بخش از بای پلات مطلوب ترند (شکل ۵).

بای پلات SY × WAASB تا حدی مشابه بای پلات شناخته شده AMMI1 است، اما در مقایسه با آن واجد مزیت هایی می باشد، چون در ترسیم آن به جای اینکه تنها از مولفه اصلی

نخست (IPCA1) استفاده شود، از همه IPCA ها استفاده می‌شود. بنابراین به سایر مولفه ها نیز امکان بروز در بای پلات را می دهد که به نوبه خود موجب تفسیر دقیق تر نتایج می شود. در مقایسه با بای پلات "کدام برنده –کجا" که در شکل ۴ نمایش داده شده است نیز این مزیت صادق میباشد، چون در آن شکل نیز همانگونه که اشاره شد تنها مولفه اصلی نخست مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجاییکه در محاسبه شاخص،WAASB از همه مؤلفه های اصلی بهره برده می‌شود، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، دقیق‌تر نمایش داده می شود ,.Olivoto *et al*) 2019b). پیش از این نیز از بای پلات × SY WAASB در ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های عدس به طور موثری استفاده شده است (Namdari *et al*., 2022a).

در مواردی که مولفه اصلی نخست، درصد نسبتاً کمی از برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه می کند، تفسیر نتایج بای پلات AMMI1 ممکن است با دقت کمتری همراه باشد، زیرا در این حالت بخش های پیچیده تر برهمکنش در سایر مولفه ها قرار می گیرد و امکان ارزیابی آنها در این بای پلات فراهم نیست .در پاسخ به این نقطه ضعف، بای پلات SY × WAASB با در نظر گرفتن هر دو بخش ساده و پیچیده از برهمکنش ژنوتیپ × محیط، امکان دستیابی به تفسیر بهتر را فراهم می کند. ادغام دو روش BLUP وAMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می شود و یافته های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق تر تفسیر می شوند (Ajay and Singh, 2021).

در رابطه با اهمیت در نظر گرفتن همه مولفه های برهمکنش، گزارش شده است که رتبه بندی ژنوتیپ های یولاف هنگامی که تنها دو مولفه در نظر گرفته شدند با هنگامی که همه مولفه ها در ارزیابی مدنظر قرار گرفتند، به شدت تغییر کرد، به نحوی که ژنوتیپی که با در نظرگرفتن دو مولفه از نظر پایداری عملکرد در رتبه نخست قرار داشت در ادامه به رتبه ششم سقوط کرد (Olivoto *et al*., 2019a). سایر پژوهشگران نیز میزان توجیه برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از مولفه نخست، پایین بوده است. از آن جمله می توان به نیشکر با ۳۲/۹ درصد (Ramburan *et al*., 2011)، ذرت با ۲۶/۴ درصد (Balestre *et al*., 2009)، گندم با ۳۲/۱ درصد (Tigabu *et al*., 2017) و ۳۳/۱ درصد (Veenstra *et al*., 2019) اشاره کرد. در اینگونه موارد بدیهی است که تفسیر برهمکنش با در نظر گرفتن یک مولفه بایستی با احتیاط بیشتری انجام گیرد و در نظر گرفتن تعداد بیشتری از مولفه های موثر در بر همکنش همانگونه که پیشتر هم توضیح داده شد، با نتایج دقیق تری همراه است.

در پژوهش حاضر، مولفه اصلی نخست توجیه کننده بیش از ۴۰ درصد از واریانس برهمکنش ژنوتیپ × محیط بود که میزان قابل قبولی است. بدیهی است که با در نظر گرفتن

تعداد بیشتری از مولفه ها، نتایج دقیق تر وتفسیر آنها نیز با قابلیت اطمینان بیشتری همراه است. در این رابطه گزارش شده است که هرچه در تجزیه AMMI از مؤلفه‌های اصلی بیشتری استفاده شود، نتایج به دست آمده با شاخص WAASBY نزدیک تر می‌شوند و این به نوبه خود از برتری ارزیابی با شاخص WAASBY در مقایسه با AMMI ناشی می شود (Sharifi *et al*., 2021).

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از مدیریت ایستگاه های تحقیقات کشاورزی گچساران، مغان، خرم آباد و ایلام برای فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می کنند.

References

Abdulahi, A., Mohammadi, R., and Pourdad, S. S. 2007. Evaluation of safflower (*Carthamus spp*.) genotypes in multi-environment trials by nonparametric methods. Asian Journal of Plant Sciences 6 (5): 827-832.

Ajay, V., and Singh G. P. 2021. AMMI with BLUP analysis for stability assessment of wheat genotypes under multi locations timely sown trials in Central Zone of India. International Journal of Agricultural Science and Food Technology 7: 118-124.

Balestre, M., Von Pinho, R. G., Souza, J. C., and Oliveira, R. L. 2009. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. Genetics and Molecular Research 8: 1311–1322.

Barbosa, M. H., Ferreira, A., Peixoto, L. A., Resende, M. D., Nascimento , M., and Silva. F. F. 2014. Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. Genetics and Molecular Research 13: 1619-1626.

Baretta, D., Nardino, M., Carvalho, I. R., Oliveira, A. C., de Souza, V. Q., and Maia, L. C. 2016. Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. Científca 44: 403-411.

Biçer, T., and Şarkar, D. 2006. Stability parameters in lentil. Journal of Central European Agriculture 7 (3): 439-444.

Ebadi Segherloo, A., Sabaghpour, S. H., Dehghani, H., and Kamrani, M. 2008. Non-parametric measures of phenotypic stability in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Euphytica 162: 221-229.

Farshadfar, E. 2013. Simultaneous selection of yield and yield stability in chickpea

genotypes using the GGE biplot technique. Acta Biologica Hungarica 61: 185-194.

Fox, P., Skovmand, B., Thompson, B., Braun, H. J., and Cormier, R. 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. Euphytica 47: 57-64.

Gurmu, F., Lire, E. A., Asfaw, A., Alemayehu, F., Rezene, Y., and Ambachew, D. 2012. GGE- biplot analysis of grain yield of faba bean genotypes in Southern Ethiopia. Electronic Journal of Plant Breeding 3: 898-907.

Hasani, M., Hamze, H., and Mansori, H. 2021. Evaluation of adaptability and stability of root yield and white sugar yield (*Beta vulgaris* L.) in sugar beet genotypes using multivariate AMMI and GGE biplot method. Journal of Crop Breeding 13 (37): 222-235.

Karimizadeh, R., Ghojogh, H., Hosseinpour, T., Armion, M., Shahbazi Homonlo, K., and Sharifi, P. 2021. Evaluating of the efficiency of AMMI and BLUP models and their integration for identifying high-yielding durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes adapted to warm rainfed regions of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 23: 30-48 (in Persian).

Kumar, R., Sharma, S. K., Luthra, O. P., and Sharma, S. 2005. Phenotypic stability of lentil genotypes under different environments. Annals of Biology 21: 155-158.

Mofidian, S. M. A., and Moghaddam, A. 2013. Analysis of ecotype × location interaction in cold-region alfalfa ecotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 15 (2): 181-195 (in Persian).

Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Mirzaei, A., and Vaezi, B. 2022a. Evaluation of genotype × environment interaction using WAASB and WAASBY indices in multi-environment yield trials of rainfed lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 24: 165-18 (in Persian).

Namdari, A., Pezeshkpoor, P., Mehraban, A., Mirzaei, A., and Vaezi, B. 2022b. Evaluation of grain yield stability of advanced rainfed lentil genotypes using multivariate AMMI method. Journal of Crop Breeding 14 (42): 169-176 (in Persian).

Nardino, M., Baretta, D., Carvalho, I. R., Olivoto, T., Follmann, D. N., Szareski, V. J., De Pelegrin, A. J., Konflanz, V. A., and de Souza, V. Q. 2016. Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. African Journal of Agricultural Research 11: 4864–4872.

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., and Diel, M. I. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials II: selection based on multiple traits. Agronomy Journal 111 (6): 2961-2969.

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V.S., de Souza, V. Q., and Jost, E. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal 111 (6): 2949-2960.

Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Ferrari, M., Szareski, V. J., De Pelegrin, A. J., and de Souza, V. Q. 2017. REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. Genetics and Molecular Research 16 (1): 1-19.

Pezeshkpour, P., and Afkar, S. 2019. Assessment of variability of lentil genotypes for agronomic traits using multivariate Analyses. Journal of Crop Breeding 11 (30): 142-151 (in Persian).

Pezeshkpour, P., Karimizadeh, R., Mirzaei, A., and Barzali. M. 2021. Analysis of yield stability of lentil genotypes using AMMI method. Journal of Crop Breeding 13 (37):132-145 (in Persian).

Piepho, H. P., Mohring, J., Melchinger, A. E., and Buchse, A. 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. Euphytica 161: 209–228.

Rahayu, S. 2020. Yield stability analysis of rice mutant lines using AMMI method. Journal of Physics: Conference Series 1436 (1): 1-9.

Ramburan, S., Zhou, M., and., Labuschagne, M. 2011. Interpretation of genotype × environment interactions of sugarcane: Identifying significant environmental factors. Field Crops Research 124: 392–399.

Sabaghnia, N., Dehghani, H., and Sabaghpour, S. H. 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Iran. Agronomy Journal 100: 760-764.

Sharifi, P. 2020. Application of multivariate analysis methods in agriculural sciences. Rasht branch, Islamic Azad University Press (in Persian). 308 pp.

Sharifi, P., Abbasian, A., and Mohaddesi, A. 2021. Evaluation the mean performance and stability of rice genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques and selection based on multiple traits. Plant Genetics Researches 7 (2): 163-180.

Smith, A. B., Cullis, B. R., and Thompson, R. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. Journal of Agriculture Science 143 (1): 449-462.

Tigabu, D. A., Tadesse, Z., Zegeye, H., and Assefa. A. 2017. Seasonal variability and genetic response of elite bread wheat lines in drought prone environments of Ethiopia. Journal of Plant Breeding and Genetics 5: 15–21.

Van Eeuwijk, F. A., Bustos-Korts, D. V., and Malosetti, M. 2016. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype×environment interactions? Crop Science 56 (5): 2119-2140.

Veenstra, L. D., Santantonio, N., Jannink, J., and Sorrells. M. E. 2019. Influence of genotype and environment on wheat grain fructan content. Crop Science 59: 190–198.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE- biplot. Crop Science 40: 597-605.